



## Génération d'un interposeur pour surface tactile vibrante pour rendu haptique

F Bernard, C Chappaz, Skandar Basrour

### ► To cite this version:

F Bernard, C Chappaz, Skandar Basrour. Génération d'un interposeur pour surface tactile vibrante pour rendu haptique. Journées Nationales du Réseau Doctoral en Microélectronique (JNRDM'14), May 2014, Lille, France. pp.3. hal-01091021

**HAL Id: hal-01091021**

**<https://hal.science/hal-01091021>**

Submitted on 4 Dec 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Génération d'un interposeur pour surface tactile vibrante pour rendu haptique

F. Bernard<sup>1,2</sup>, C. Chappaz<sup>2</sup>, S. Basrour<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Univer. Grenoble Alpes, TIMA, F-38031  
46, avenue Félix Viallet  
38031 GRENOBLE Cedex France  
<sup>2</sup>ST Microelectronics  
850 rue Jean Monnet  
38926 Crolles, France

E-mail: francois.bernard@imag.fr

## Résumé

*Dans un monde avec des technologies croissantes, les fabricants de téléphonies mobiles et de tablettes tactiles intègrent dans leurs appareils de plus en plus de fonctionnalités. Le sens du touché, premier sens développé par l'humain, est une des préoccupations premières pour ces fabricants. L'haptique, autrement dit la sensation du touché, et son développement est donc au centre de nombreux intérêts. Dans cet article, l'intégration d'une solution de retour haptique basée sur l'effet squeeze film [1] sera traitée. Aujourd'hui, l'intégration des solutions haptiques dans les appareils mobiles est bridée par une forte tension d'actionnement. Pour notre solution, l'actionnement de l'effet se fait via une couche mince de matériau piézoélectrique (solution de PZT sol-gel) réduisant notablement les tensions d'actionnement. Un asservissement mécanique de la solution sera aussi traité afin de réduire les coûts énergétiques intrinsèques à notre solution.*

## 1.Introduction

Les rendus haptiques procurent à l'utilisateur la possibilité de toucher des textures, des formes et des volumes. L'effet « squeeze film » [1] est basé la modulation de flexion en créant une couche d'air entre le doigt de l'utilisateur et la surface plane de la dalle tactile de l'appareil mobile. Des précédents travaux sur cet effet ont montré qu'une déformation de  $1\mu\text{m}$  à des fréquences supérieures à 25 kHz sont nécessaires afin d'obtenir cet effet.

La consommation en énergie de cet actionnement est un des principaux enjeux pour l'intégration de cette solution dans les smartphones et tablettes tactiles. Des transducteurs électromécaniques déposés en couche mince sont utilisés pour l'actionnement du rendu haptique. Ces transducteurs sont constitués d'une solution sol-gel de  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})$  (PZT) ce qui réduit drastiquement la consommation d'énergie pour l'actionnement et augmente les possibilités d'intégration comparativement aux solutions actuelles.[2]

La consommation intrinsèque à l'apparition de l'effet « squeeze film » de notre solution peut aussi être réduite

en choisissant l'onde de flexion, nécessaire à l'actionnement du rendu haptique, la moins couteuse en énergie. Les ondes de Lamb antisymétriques paires et tout particulièrement le mode A0 de celle-ci présente un intérêt particulier en termes de fréquence d'actionnement et de couplage mécanique.

Dans cette étude une approche mécanique sur le déplacement de ce type d'onde est effectuée afin de déterminer les fréquences d'actionnement de la dalle tactile. Dans un second temps un modèle électromécanique équivalent basé sur le modèle de Mason [3] et l'influence de contrainte extérieure sur le système (la présence d'un doigt) sera traitée.

## 2.Les échantillons

En se basant sur les simulations par la méthode des éléments finis (FEM), des prototypes ont été réalisés sur silicium dans une technologie connue pour la production de MEMS RF [4]. Les transducteurs piézoélectriques sont positionnés sur les ventres de déformation afin d'obtenir le meilleur couplage électromécanique [5] en fonction du dimensionnement de dalle comme l'indique la figure 1 pour une dalle de  $30\times 40\text{mm}^2$ .

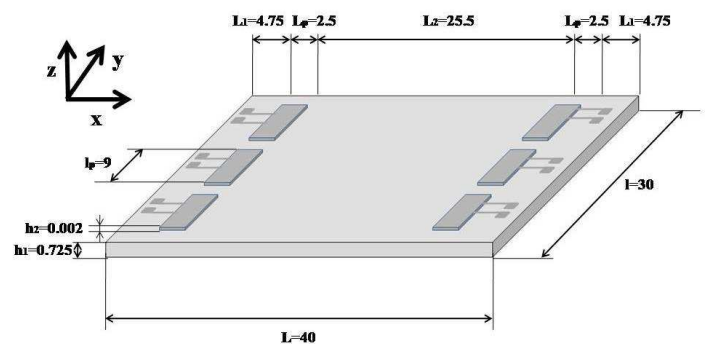


Figure 1. Schéma d'une dalle  $30\times 40\text{mm}^2$  avec le positionnement des actionneurs piézoélectriques (dimension en mm).

### 3. Etude des ondes de Lamb A0

Afin de prévoir toute variation de comportement du système, un modèle physique, basé sur la propagation des ondes de Lamb, est réalisé.

#### 3.1 Extrapolation de la vitesse de phase

Dans notre solution, nous considérerons le déplacement des ondes de Lamb A0 sur une plaque finie. La théorie des ondes de Lamb nous donne un spectre de la vitesse de phase pour les différents modes de déplacement (figure 2)

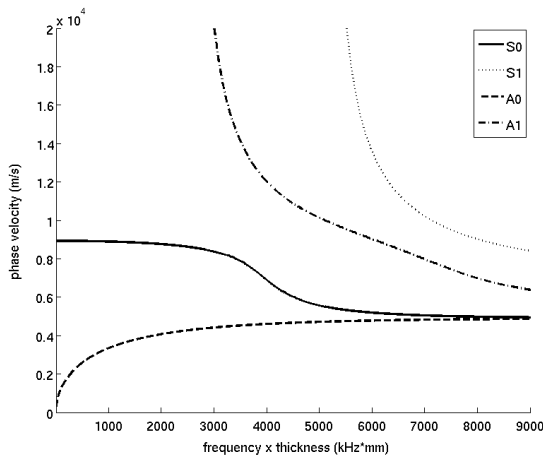


Figure 2. Vitesse de phase en fonction du produit fréquence – épaisseur pour du silicium

Cette vitesse de phase représente un point de départ dans la propagation de l'onde nécessaire au rendu haptique. La théorie de Lamb considère un déplacement sur une plaque infini. Dans notre cas, le dimensionnement de notre surface de déplacement est fini. Une réflexion de l'onde considérée en bord de la plaque est donc à prendre en compte.

#### 3.2 Réflexion de l'onde de Lamb

On restreint l'étude pour des fréquences comprises entre 25 et 100kHz. Grâce à la méthode de colocation, pour l'onde de Lamb A0 incidente considérée, l'onde réfléchie sur un bord droit est sous forme A0 également [6].

Ceci créant une onde résultante stationnaire dont la fréquence de résonance peut être déterminée. Un modèle physique nous permet ainsi de déterminer ces fréquences que l'on peut comparer à la FEM.

Nombre de ventre observé	Fréquence simulée par FEM (en kHz)	Fréquence obtenue par le modèle physique (en kHz)	Erreur absolue
4	35.3	36.7	4 %
5	53	54.5	3 %
6	73.6	75.5	2.5 %

Table 1. Comparaison des fréquences de résonance obtenue pas FEM et par le modèle physique.

### 4. Génération du modèle électrique équivalent

Dans cette section, on se base sur les résultats précédents afin de générer un modèle électrique équivalent. Ce modèle électrique constituera la base de la boucle d'asservissement en fréquence compensant l'influence des paramètres extérieurs tel que la présence du doigt.

#### 4.1 Modèle de Mason

En se basant sur les modèles équivalents d'un transducteur piézoélectrique [2], on détermine le modèle équivalent de l'ensemble de la dalle. Les transducteurs piézoélectriques sont considérés pour une colonne comme des actionneurs et pour l'autre colonne comme des capteurs. Ceci nous permet d'évaluer la fonction de transfert de l'ensemble du système.

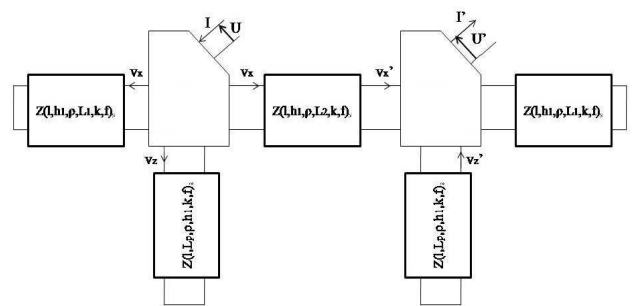


Figure 3. Modèle de Mason équivalent à l'ensemble du système

#### 4.2 Comparaison théorique et pratique

Afin de comparer l'étude expérimentale à la réalité, une caractérisation électrique sur un analyseur de réseau (VNA) est effectuée. Les résultats de la figure 4 montrent que l'on obtient bien un maximum de la fonction de transfert à la fréquence considérée.

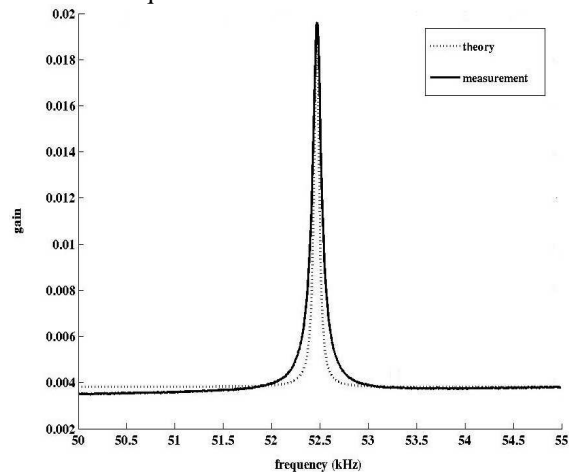


Figure 4. Comparaison du gain obtenu par le modèle de Mason comparé au résultat expérimental

On obtient bien une correspondance entre le modèle expérimental et la mesure sur le VNA.

## 5. Influence extérieure et intégration du modèle

### 5.1 Influence de la contrainte du doigt

Suite à l'expérimentation précédente, une étude de l'influence du doigt a été réalisée. On observe sur la figure 5 que le maximum de la fonction de transfert est décalé vers les plus hautes fréquences. Et que le gain diminue fortement à mesure que la contrainte sur la dalle augmente.

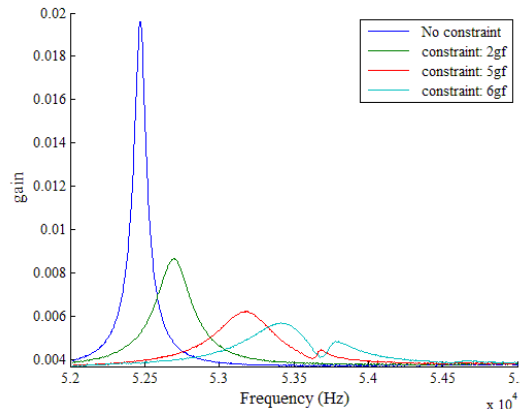


Figure 5. Gain de la fonction de transfert du système global en fonction de la contrainte extérieure.

En cherchant à adapter la fréquence d'actionnement, on peut ainsi limiter l'augmentation de puissance à injecter afin de compenser l'influence du doigt et ainsi procurer à l'utilisateur l'effet « squeeze film » recherché pour le rendu haptique.

### 5.2 Intégration du système

Afin de réduire le plus possible les dimensions de l'électronique d'actionnement de la dalle. L'étage de commande du système (microprocesseur) est positionné sur l'étage de puissance du circuit (power stage) comme le montre la figure 6. En se basant sur l'intégration 3D de ce type d'empilement, cela permet de réduire drastiquement les dimensions de la commande de la puce dédiée à l'effet haptique.

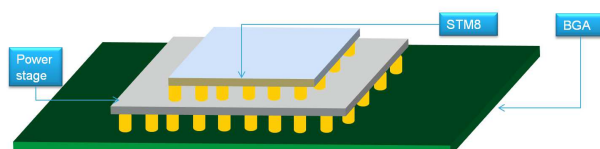


Figure 6. Intégration de l'étage de commande dédiée au rendu haptique.

Cet empilement 3D est un atout majeur à l'intégration de la solution de l'haptique dans les appareils mobiles du fait de sa faible dimension.

## 6. Conclusions

Le rendu haptique est l'un des principaux enjeux pour les fabricants de téléphonie et tablette mobile. Cela permet de transmettre de nouvelles sensations à l'utilisateur. En considérant des actionnements par

matériaux piézoélectriques en couche mince, on limite la consommation d'énergie. De plus, en intégrant un système d'asservissement basé sur un modèle électrique équivalent du système global, on réduit la consommation d'énergie du système en fonctionnement.

De prochaine étude sur l'influence de d'autres contraintes extérieures telles que la température ou l'humidité doivent être encore menées.

## Références

- [1] M. Biet, F. Giraud, B. Lemaire-Semail, "Squeeze film effect for the design of an ultrasonic tactile plate", *IEEE transactions on ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency control*, vol. 54, n° 12, December 2007, pp. 2678-2688
- [2] F. Casset et al. "PZT piezoelectric coefficient extraction by PZT-actuated micro-beam characterization and modeling", *IEEE Thermal, Mechanical and Multiphysics Simulation and Experiments in Micro-Electronics and Micro-Systems conference (EuroSime)*, April 16-18, 2012.
- [3] W.P. Mason, "Piezoelectric Crystals and Their Application to Ultrasonics", *D. Van Nostrand Company, Inc.*, 1950
- [4] M. Cueff, E. Defaÿ, P. Rey, G. Le Rhun, F. Perruchot, C. Ferrandon, D. Mercier, F. Domingue, A. Suhm, M. Aïd, L. Liu, S. Pacheco, M. Miller, "A fully package piezoelectric switch with low voltage actuation and electrostatic hold", *IEEE Int. Conf. on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) Conference*, pp. 212-215, 2010.
- [5] F. Casset, JS. Danel, C. Chappaz, Y. Civet, M. Amberg, M. Gorisse, C. Dieppedale, G. Le Rhun, S. Basrour, P. Renaux, E. Defaÿ, A. Devos, B. Semail, P. Ancey, S. Fanget, "Low voltage actuated plate for haptic applications with PZT thin-film", *The 17<sup>th</sup> International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems*, June 16-20, 2013.
- [6] Y. Cho, J. L. Rose "An elastodynamic hybrid boundary element study for elastic guided wave interactions with a surface breaking defect", *International Journal of Solids and Structures* 37, pp 4103-4124, 2000.